

DOI: 10.26650/JGEOG2024-1441862

**COĞRAFYA DERGİSİ**  
**JOURNAL OF GEOGRAPHY**  
 2024, (49)

<https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/jgeography/home>


## NDVI, NDBI ve UI Analizleriyle Yapılaşma Yoğunluğu Değişimi Analizi (1999-2022): Yıldırım İlçesi (Bursa) Örneği

### *Building Density Change Analysis with NDVI, NDBI and UI Analyzes (1999-2022): Yıldırım District (Bursa) Example*

Ali ÜNVER<sup>1</sup> , Zafer BAŞKAYA<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik, Türkiye

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi Coğrafya Bölümü, Bilecik, Türkiye

ORCID: A.Ü.0009-0002-5765-9132; Z.B. 0000-0002-1538-4911

#### ÖZ

Günümüzde yerleşim alanlarındaki değişimlerin tespitinde çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. Çalışmada, 1999-2022 yılları arasında Bursa'nın Yıldırım ilçesinde yapılaşma yoğunluğu değişimleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri ve çeşitli indeks analizleri ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kullanılan analiz yöntemleri arasında Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI), Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma İndeksi (NDBI) ve Kentleşme İndeksi (UI) bulunmaktadır. Bu indeksler sayesinde, Yıldırım ilçesinde yapılaşma yoğunluğu ve yeşil alan dağılımındaki değişiklikler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. NDVI analizi, yerleşim birimleri ve yeşil alanları ayırt etmede NDBI ve UI analiz yöntemlerine kıyasla daha etkili bulunmuştur. 75.Yıl, Çınarönü, Demetevler, Fidyekızık, Hacivat, İsabey, Karapınar, Mevlana, Millet, Siteler, Şirinevler, Teferruç, Ulus, Vakıf, Vatan ve Yunusemre gibi mahallelerde yapılaşma yoğunluğundaki değişimlerin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları kentsel alanların genişlemesi, yapılaşma trendleri ve yeşil alan koruma çabaları gibi konularında NDVI, NDBI, UI gibi indeks analizlerinin, kentsel planlama ve çevre yönetimi alanlarında son derece etkili araçlar olabileceğini göstermektedir. Bu teknikler, Yıldırım ilçesindeki yapılaşma yoğunluğu değişimini detaylı bir şekilde analiz ederek, yerleşim yoğunluğu ve yeşil alan dağılımındaki değişimleri ortaya koymaktadır. Aynı zamanda bu değişimlerin altında yatan dinamiklerin anlaşılmasına olanak veren bu çalışma, sürdürülebilir kentsel gelişim stratejilerinin önemine dikkat çekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Bursa, Yıldırım, Yapılaşma yoğunluğu değişimi, NDVI, NDBI ve UI analizleri

#### ABSTRACT

Currently, various methods are used to detect changes in residential areas. In this study, changes in building density in Bursa's Yıldırım District between 1999 and 2022 were examined in detail using Geographic Information Systems (GIS) techniques and various index analyses. The analysis methods used were the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and the Urbanization Index (UI). Thanks to these analyzes, changes in building density and green area distribution in Yıldırım District were analyzed in detail. NDVI analysis was found to be more effective in distinguishing residential areas and green areas compared to NDBI and UI analysis methods. It was determined that the changes in the density of construction were greater in neighborhoods such as 75.Yıl, Çınarönü, Demetevler, Fidyekızık, Hacivat, İsabey, Karapınar, Mevlana, Millet, Siteler, Şirinevler, Teferruç, Ulus, Vakıf, Vatan, and Yunusemre.

The results of the study show that index analyses, such as NDVI, NDBI, and UI, can be extremely effective tools in the fields of urban planning and environmental management on issues such as the expansion of urban areas, construction trends, and green area protection efforts. These techniques also allow us to understand the dynamics underlying these changes and, draws attention to the importance of sustainable urban development strategies.

**Keywords:** Bursa, Yıldırım, Building density change, NDVI, NDBI, and UI analyzes

Submitted/Başvuru: 23.02.2024 • Revision Requested/Revizyon Talebi: 06.06.2024 • Last Revision Received/Son Revizyon: 08.10.2024 •

Accepted/Kabul: 29.10.2024



Corresponding author/Sorumlu yazar: Zafer BAŞKAYA / zafer.baskaya@bilecik.edu.tr

Citation/Atf: Ünver, A., Başkaya, Z. (2024). Building density change analysis with NDVI, NDBI and UI Analyzes (1999-2022): Yıldırım District (Bursa) example. *Coğrafya Dergisi*, 49, 65-81. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2024-1441862>



## EXTENDED ABSTRACT

In this study, the change in building density in Bursa's Yıldırım district between 1999 and 2022 is examined in detail using Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing techniques. The focus of this research is on the urban growth of Yıldırım district, the decrease in green areas, and the increase in construction. Various index analysis methods, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Urbanization Index (UI), and Normalized Difference Built-up Index (NDBI), have been used to analyze these changes. These methods were chosen to quantitatively evaluate changes in the district's natural and artificial land use patterns. The research was conducted using a comprehensive satellite image archive obtained through the Google Earth Engine (GEE) platform and ArcMap 10.5 GIS software. Data obtained from the Landsat 7 satellite series for 1999 and Sentinel-2 for 2022 were processed to analyze the construction and environmental changes in the district. In this process, NDVI analysis was used to measure the vitality and density of vegetation. NDBI analysis was calculated using mid-infrared and near-infrared bands to determine urban development and the distribution of built-up areas. UI analysis was calculated based on shortwave infrared and near-infrared bands to evaluate the expansion of urban areas and construction density. In this study, changes in the construction of each of the 69 neighborhoods in Yıldırım District between 1999 and 2022 were examined and detailed in tables and maps. A comprehensive analysis of building density and urban change based on NDVI maps of 1999 and 2022 visualizes the transformation of neighborhoods over time through comparative maps. This series of visual analysis plays a fundamental role in understanding the district's urban growth and development between 1999 and 2022.

The results obtained as a result of the study show how valuable index analyses, such as NDVI, NDBI, and UI are in documenting urban and environmental changes. They, also reveal important issues that should be carefully considered when using these methods. The comparison of these analyses showed that various land and topographic conditions, such as spatial vegetation density, land use, residential construction, and bare rock density, have the potential to yield different results when documenting urban land use. This emphasizes the importance of verifying data obtained by comparing it with real land images. The results of such methods, which can work with different levels of accuracy at every location, need to be evaluated by taking into account regional characteristics and existing land conditions. Therefore, the obtained maps were subjected to a detailed comparison using high-resolution satellite images (Google Earth). According to the analysis results obtained from the comparisons, NDVI was more successful in documenting the density of construction than the other methods. These findings that the NDVI also plays a critical role in documenting and planning urban development and is a valuable tool for establishing sustainable urban development strategies.

The neighborhoods that showed the most change in the study are 75.Yıl, Çınarönü, Demetevler, Fidyekızık, Hacivat, İsabey, Karpınar, Mevlana, Millet, Siteler, Şirinevler, Teferrüç, Ulus, Vakıf, Vatan, and Yunusemre. These results provide valuable information for urban planning and environmental sustainability and guidance for future planning strategies. This study offers new perspectives for understanding the urban change processes of Yıldırım District and demonstrates how effectively NDVI can be used to monitor construction density changes.

This study provides important results for understanding the urban transformation processes of Yıldırım District and shaping future urban development and planning strategies. Examining urban development and environmental changes in detail allows the creation of strategies that contribute to the development of sustainable urbanism. These analyses provide important insights that will guide researchers, decision-makers, and all relevant stakeholders working in the field of urban planning and environmental management. However, for these predictions to be used effectively, the limitations of the analysis methods and regional characteristics must be taken into account, and the results must be verified and interpreted in a way that coincides with local conditions. This will contribute to supporting sustainable development in districts with rapidly changing urban areas, such as Yıldırım district, by ensuring more conscious and accurate decisions are made in urban and environmental planning. This approach will significantly contribute to urban development sustainability by ensuring that future planning and management strategies are more appropriate, comprehensive, and sensitive to real-world conditions and needs.

## 1. GİRİŞ

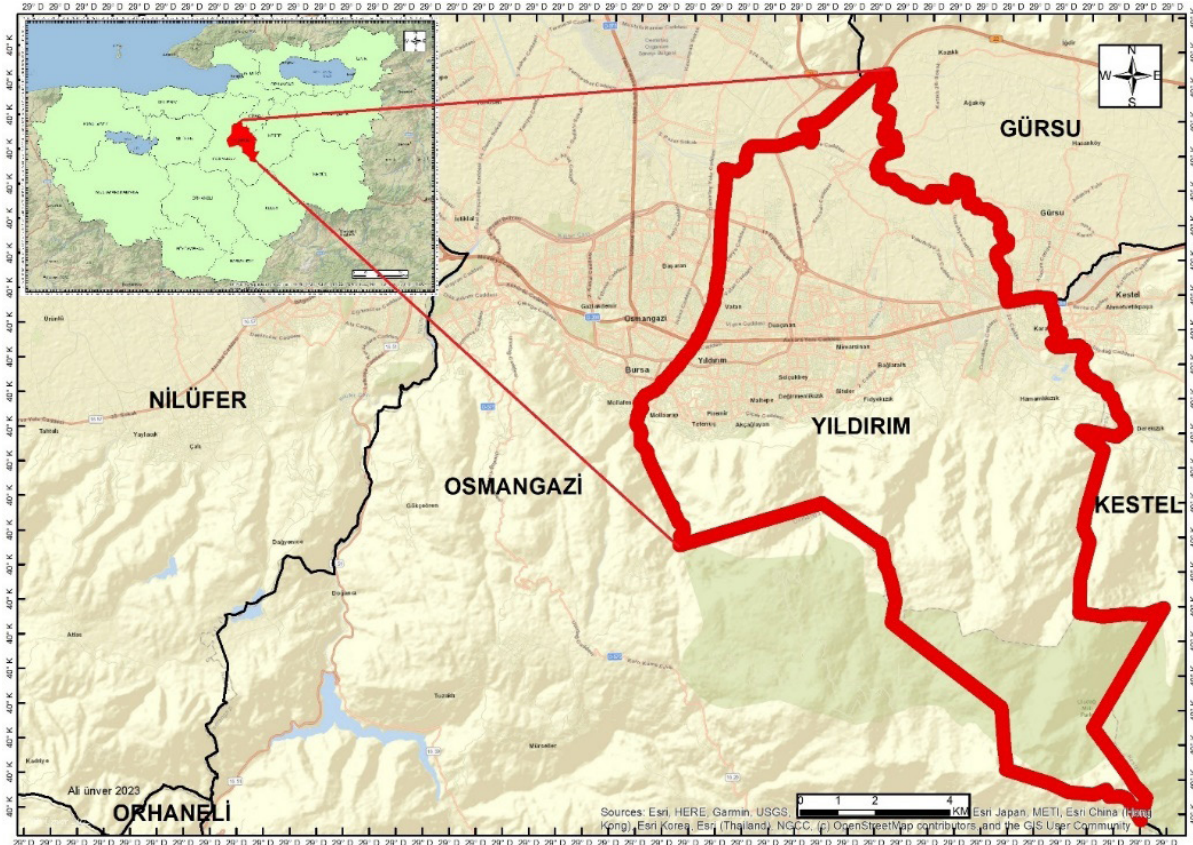
Modern kentsel planlamanın temel yapıtaşlarından bazıları, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerinin entegrasyonudur. Bu teknolojiler, kentsel alanların izlenmesi, yönetilmesi ve planlanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Moore ve McCutcheon, 2022). Özellikle hızlı kentsel gelişim yaşayan bölgelerde, uzaktan algılama ve CBS teknikleri, şehirlerin sürdürülebilir şekilde planlanması için kritik araçlar olarak kullanılmaktadır (Kapluhan, 2014). Bu teknolojiler, şehirlerin büyüme desenlerini ve çevresel etkilerini izlemek için geniş ölçekli veriler sunarak, zamansal ve mekânsal değişikliklerin tespit edilmesine olanak tanır (Collins, 1988).

Uzaktan Algılama, geniş coğrafi alanları kapsayarak çevresel değişimleri izleme ve çeşitli çevresel parametreleri ölçme yeteneği sunarken, CBS bu verileri işlemek, analiz etmek, yorumlamak ve görselleştirmek için güçlü bir araçtır (Jensen, 2009). CBS, mekânsal verilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bütüncül bir şekilde gerçekleştiren bir sistem olarak şehir planlamasında önemli bir yer tutmaktadır (Goodchild, 1992). CBS ve Uzaktan

Algılama teknolojilerinin entegre kullanımı, kentsel dinamiklerin izlenmesinde ve planlanmasında politika yapıcılara ve planlamacılara büyük bir avantaj sağlamaktadır (Batty, 2013).

Kentsel alanlarda yeşil alanların korunması, yapılaşmanın kontrol edilmesi ve nüfus artışının yönetilmesi gibi kritik konular, CBS ve Uzaktan Algılama teknikleriyle daha stratejik bir şekilde ele alınmaktadır. Bu bağlamda, NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi), NDBI (Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma İndeksi) ve UI (Kentleşme İndeksi) gibi analizler, kentsel gelişimi ve çevresel sürdürülebilirliği izlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Zha, Gao, ve Ni, 2003). Bu analizler, şehirlerdeki yeşil alanların korunması ve sürdürülebilir gelişim stratejilerinin oluşturulmasında etkin bir şekilde uygulanmıştır (Ekinci, 2013).

Yerleşme uygunluk analizleri, kentsel planlamanın temel unsurlarından biri olup, mekânsal karar destek sistemleri kullanılarak yerleşim alanlarının uygun konumlarının belirlenmesine olanak tanır. CBS teknolojileri, topoğrafya, ulaşım ağı ve çevresel hassasiyet gibi çeşitli faktörleri entegre bir şekilde değerlendirerek yerleşme uygunluk analizlerinde kullanılmaktadır (Saaty, 1980).



Şekil 1. Yıldırım İlçesinin konumu  
Figure 1. Location of Yıldırım District

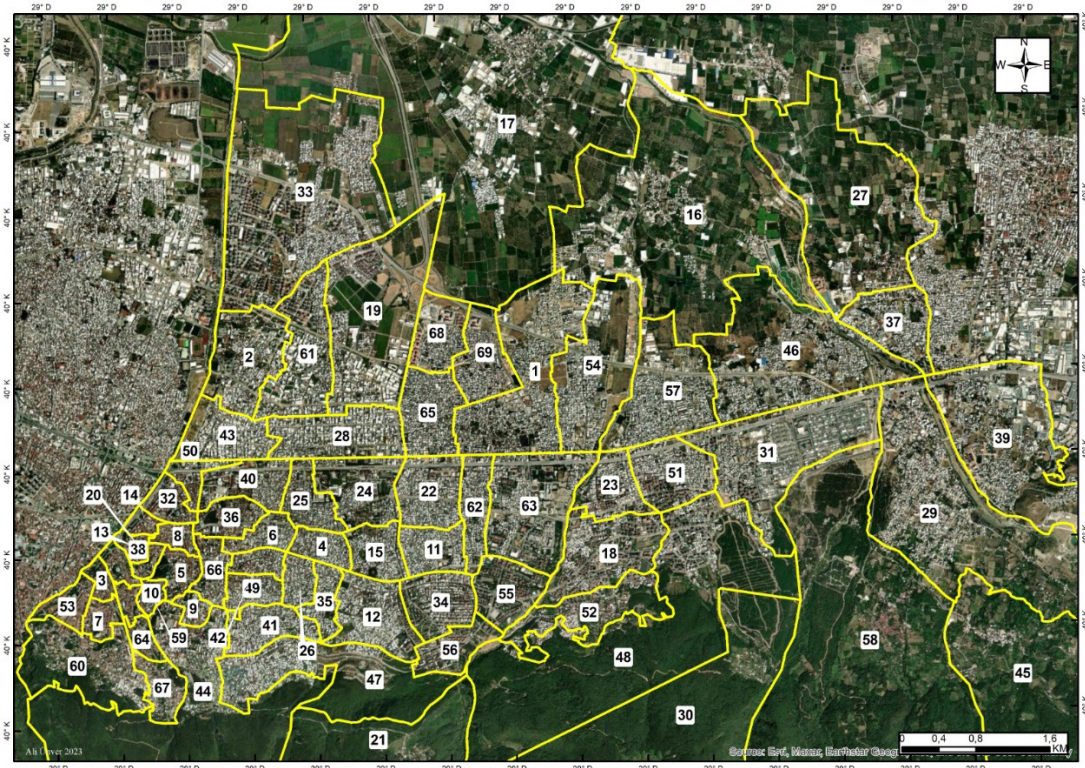
Bu çalışmada, arazi kullanımı değişimlerinin anlaşılması amacıyla Uzaktan Algılama ve CBS entegrasyonu incelenmiş, bu yöntemlerin nüfus artışı, ekonomik faaliyetler ile çevresel etkiler gibi faktörlerle olan ilişkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Geniş bir yelpazedeki arazi kullanım türleri (tarım alanları, yeşil alanlar, yerleşim birimleri ve ulaşım ağları vb.) dönüşümlerinin modern uygulamalı coğrafya kapsamında fiziksel ve bölgesel planlama, şehrsel gelişme ve konut sorunları gibi konularda nasıl izlenip analiz edildiği ve bu analizlerin pratik uygulamaların yanı sıra kentsel planlama sürecine nasıl entegre edildiğinin incelenmesi, coğrafi gözlem, araştırma ve analiz yöntemlerinin önemini ortaya koymaktadır (Tümertekin, 2007). Bu bağlamda, söz konusu teknolojilerin ve metodolojilerin etkin kullanımının kentsel planlamadaki rolü ve etkisi daha iyi anlaşılmaktadır. Kentsel gelişimdeki bu dinamikler, şehirlerin geleceğini şekillendirmede kritik rol oynamakta ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesinde en fazla öneme sahiptir.

## 2. ÇALIŞMA ALANININ YERİ VE SINIRLARI

Çalışma alanı olan Yıldırım ilçesi, Bursa'nın şehrinin merkez metropoliten ilçelerinden biri olup, tarihi, kültürel ve ekonomik zenginlikleriyle dikkat çeken önemli bir alandır. Uludağ'ın

eteklerinde konumlanmış olan bu ilçe, doğuda Kestel ve Gürsu ilçeleri, kuzeyde ve batıda ise Osmangazi ilçesiyle sınırdır (Şekil 1). 399 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne ve deniz seviyesinden 150-155 metre yüksekliğe sahip olan Yıldırım ilçesinin coğrafi yapısı, Bursa'nın hem kentsel hem de doğal manzarasını zenginleştiren bir çeşitlilik sunmaktadır. İlçenin güney bölümü Uludağ'ın yükseltileriyle kaplıyken kuzey bölgesi daha düz bir arazi yapısına sahiptir. Ayrıca, Bursa-Ankara karayolu gibi önemli ulaşım hatlarının ilçe sınırları içinden geçmesi, Yıldırım'ın stratejik bir konumda yer almasını sağlamaktadır. 69 mahalleye sahip olan Yıldırım İlçesi, bu mahalleler aracılığıyla zengin bir sosyal ve ekonomik yapı sergilemektedir. 2000 yılında yaklaşık 480.266 olan nüfusu, 2022 yılı itibarıyla 655.856'ya ulaşarak gözle görülür bir artış göstermiştir (Bursa Yıldırım Belediyesi, 2023). Bu hızlı nüfus artışı, ilçenin kentsel dönüşüm süreçlerine ve yapısal değişimlerine işaret etmektedir.

Yıldırım ilçesinin çalışma alanı olarak seçilmesinin birkaç önemli nedeni bulunmaktadır. Öncelikle, Yıldırım ilçesi son yıllarda aşırı göç alarak hem sanayi yoğunluğu hem de hızla artan konut projeleri ile çevresel ve kentsel yapısını hızla değiştiren bir ilçe haline gelmiştir. Benzer şekilde Yıldırım ilçesinin Uludağ eteklerinde ve Bursa Ovası'nda yer alması, ilçenin hem doğal hem de kentsel dinamiklerini anlamak için



Şekil 2. Yıldırım İlçesinin mahalle sınırları haritası  
Figure 2. Neighborhood boundaries map of Yıldırım district

ideal bir ortam sunmaktadır. Ayrıca, bu ilçedeki hızlı ve yoğun yapılaşma, çevresel sürdürülebilirlik ve kentsel planlama açısından önemli zorluklar ve fırsatlar sunmaktadır. Bu faktörler, Yıldırım metropoliten ilçesini, kentsel büyüme, çevresel değişim ve sürdürülebilir kalkınma stratejileri üzerine yapılacak bir çalışma için mükemmel bir örnek haline getirmektedir.

Yıldırım metropoliten ilçesinin ayrıntılı uydu görüntüsüne dayanarak çizilmiş olan mahalle haritası, araştırma alanının geniş ve karmaşık yapısını gözler önüne sererken, mahallelerin sınırlarını ve yerleşim desenlerini belirginleştirerek, çalışmanın temelini oluşturan coğrafi çerçeve ve mekânsal referans olarak hizmet vermektedir (Şekil 2). NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi), NDBI (Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma İndeksi) ve UI (Kentleşme İndeksi) analizleriyle yapılan değişim analizlerinde ilçenin güney kısımlarını oluşturan Piremir, Mollaarap, Akçağlayan, Zeyniler, 75. Yıl, Balaban, Cumalıkızık ve Hamamlıkızık mahallerinin güney kısımları Uludağ eteklerinde yer alan kayalık ve ormanlık alanları oluşturduğundan yapılan analizlerinin doğruluk derecesini kısıtlamaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada bu mahallelerin güney kısımları sonuçların doğruluk ve geçerliliğini açısından çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır (Şekil 2-3-4-5). Ayrıca haritalarda belirtilen mahalle kodları çalışmadaki haritaların daha iyi anlaşılması açısından liste halinde açıklanmıştır (Tablo 1).

### 3. ÇALIŞMANIN AMACI VE YÖNTEMİ

Çalışmanın amacı, Yıldırım ilçesindeki mahallelerin 1999 ile 2022 yılları arasındaki değişimlerini CBS teknikleri ve NDVI, UI, NDBI indeks analizleri kullanarak analiz etmek ve kentsel değişimin ortaya konulmasında bu analizlerin hangisinin daha

tutarlı olduğu karşılaştırmalı olarak belirlemektir. Bu bağlamda 1999 ve 2022 yılları arasındaki değişimlerin boyutlarına da vurgu yapılmıştır. Çalışmada kentsel büyümenin dinamikleri ve bu büyümenin yerleşim alanları, yeşil alanlar ve ulaşım ağları gibi çeşitli arazi kullanım türlerine olan etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmektedir. Özellikle, doğal ve yeşil alanların azalması ve beşeri tesislerin artışına odaklanılarak, ilçedeki yapılaşma baskısının yarattığı değişimler incelenmiştir.

Veri toplama ve analiz sürecinde, Google Earth Engine (GEE) platformunun sağladığı geniş kapsamlı uydu görüntüsü arşivi ve gelişmiş analiz araçlarından faydalanılmıştır. Bu veriler ArcMap 10.5 coğrafi bilgi sistemleri (CBS) programı kullanılarak işlenmiş, analizler yapılmış ve haritalar oluşturulmuştur. Google Earth Engine, zengin uydu veri seti koleksiyonu ve güçlü coğrafi analiz yetenekleri ile çeşitli uydu görüntüleri ve tarihsel veri setlerine hızlı erişim imkânı sunmaktadır (Gorelick ve diğerleri, 2017). Bu durum zaman içerisindeki çevresel ve kentsel değişimlerin detaylı olarak incelenmesine olanak tanımaktadır. Çalışmada, 1999 yılı için Landsat 7'nin 'LE07/C01/T1' serisi ve 2022 yılı için Sentinel-2'nin 'Copernicus/S2' serisi kullanılmıştır. Seçilen bu tarih aralıkları, belirtilen yıllarda erişilebilen en uygun ve kapsamlı veri setlerini temsil etmektedir. 1999 yılında Sentinel serisi henüz mevcut olmadığından, Landsat 7 serisi bu dönemin şartlarına en uygun veri kaynağı olarak belirlenmiştir. Landsat 7, o dönemde mevcut olan en detaylı ve güvenilir uydu görüntülerini sağlamaktadır (Wulder, Coops, Roy, White, ve Hermosilla, 2018). Buna karşın, 2022 yılı için Sentinel-2 serisi tercih edilmiştir. Çünkü bu serinin sunduğu veriler, gelişmiş teknolojisi sayesinde daha yüksek çözünürlükte ve kalitededir. Sentinel-2'nin gelişmiş spektral özellikleri, arazi kullanımı ve

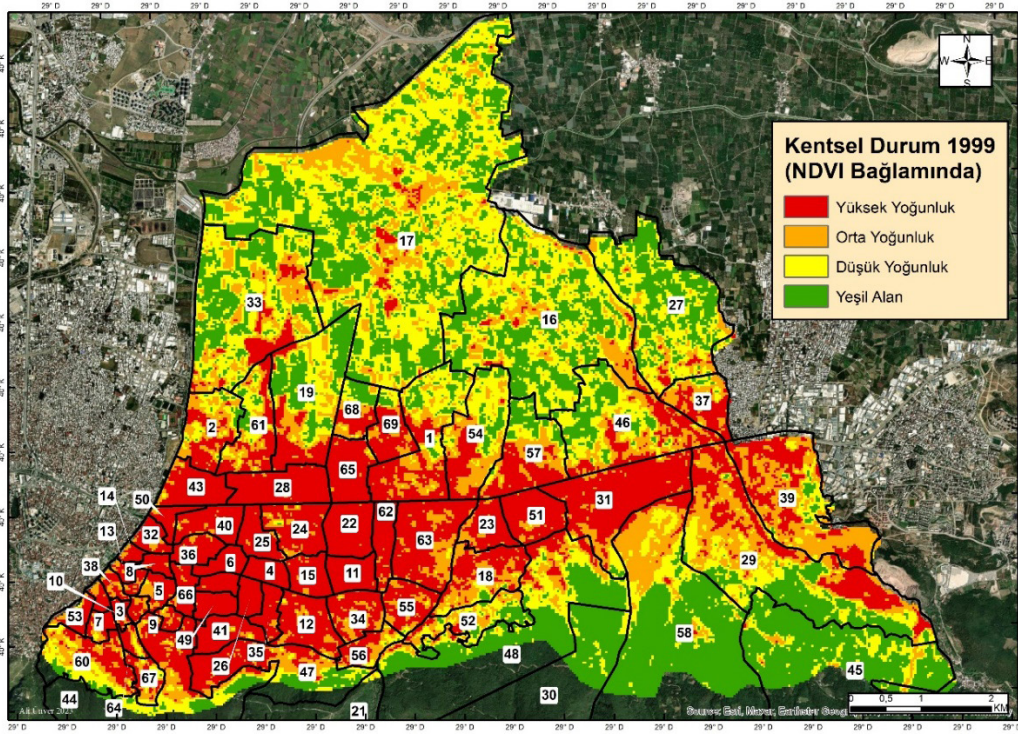
**Tablo 1.** Mahalle isimlerinin rakamsal kod karşılıkları (Şekil 2-3-4-5)

*Table 1. Numerical code correspondence of neighborhood names (Figure 2-3-4-5)*

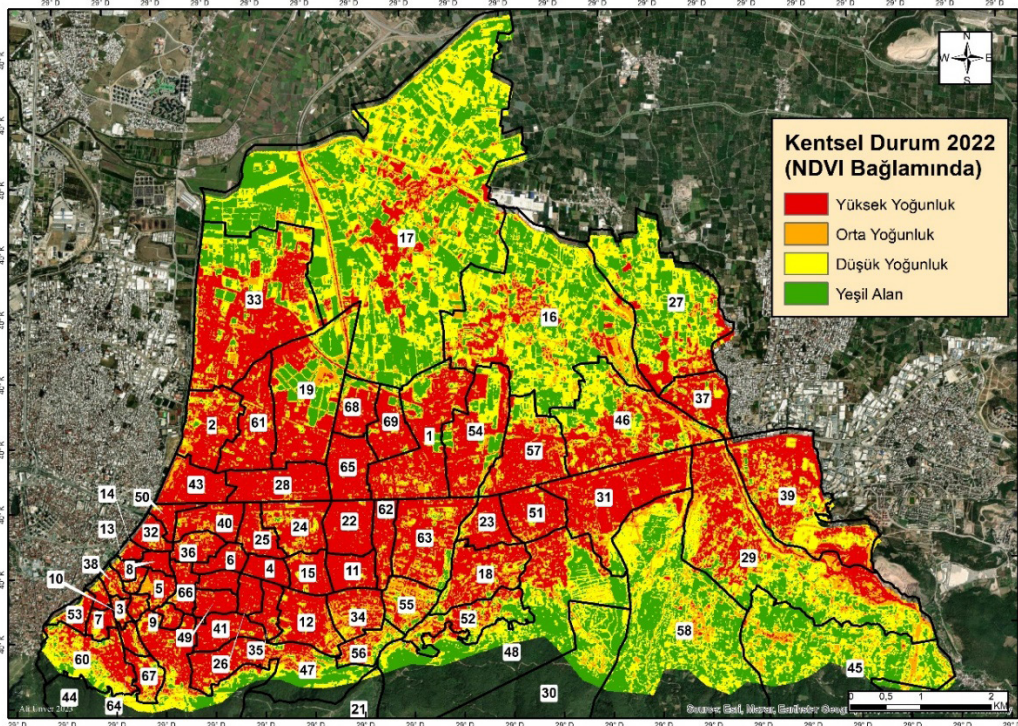
Kod	Mahalle Adı	Kod	Mahalle Adı	Kod	Mahalle Adı	Kod	Mahalle Adı
1	Arabayatağı	19	Yunusemre	37	Demetevler	54	Çınarönü
2	Vatan	20	Yeşil	38	Hocataşkın	55	Siteler
3	Kurtoğlu	21	Zeyniler	39	Karapınar	56	Kaplıkaya
4	Baruthane	22	Ortabağlar	40	Şükranıye	57	Hacivat
5	Emirsultan	23	Erikli	41	Zümrütevler	58	Cumalıkızık
6	Mehmetakifersoy	24	152 Evler	42	Sıracevizler	59	Karamazak
7	Umurbey	25	Beyazıt	43	Anadolu	60	Mollaarap
8	Haciseyfetin	26	Yeşilyayla	44	Piremir	61	Kazımkarabekir
9	Musababa	27	İsabey	45	Hamamlıkızık	62	Güllük
10	Namazgah	28	Duaçınarı	46	Şirinevler	63	Mimarsinan
11	Selçukbey	29	Değirmenönü	47	Akçağlayan	64	Yenimahalle
12	Değirmenlikızık	30	Balaban	48	75.Yıl	65	Yavuzselim
13	Meydancık	31	Yiğitler	49	Yediselvililer	66	Davutkadı
14	Selimzade	32	Yıldırım	50	Davutdede	67	Teferruç
15	Eğitim	33	Millet	51	Esenevler	68	Mevlana
16	Vakıf	34	Ertuğrulgazi	52	Fidyekızık	69	Ulus
17	Samanlı	35	Maltepe	53	Karaağaç		
18	Bağlaraltı	36	Sinandede				

çevresel değişimlerin daha ayrıntılı olarak analiz edilmesine imkân vermektedir (Tarantino ve diğerleri, 2021).

Çalışmada NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) analizi önemli rol oynamaktadır. Bu yöntem, özellikle bitki örtüsünün canlılığını ve yoğunluğunu ölçmek için



Şekil 3/A. 1999 yılı NDVI haritası (Veri seti: 'LANDSAT/LE07/C01/T1')  
Figure 3/A. NDVI map of 1999 (Data set: 'LANDSAT/LE07/C01/T1')



Şekil 3/B. 2022 yılı NDVI haritası (Veri seti: 'COPERNICUS/S2')  
Figure 3/B. NDVI map of 2022 (Data set: 'COPERNICUS/S2')

kullanılmaktadır. Analizde, Sentinel-2'nin B8 (yakın kızılötesi) ve B4 (kırmızı) bantları temel alınır. NDVI formülü:

$$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

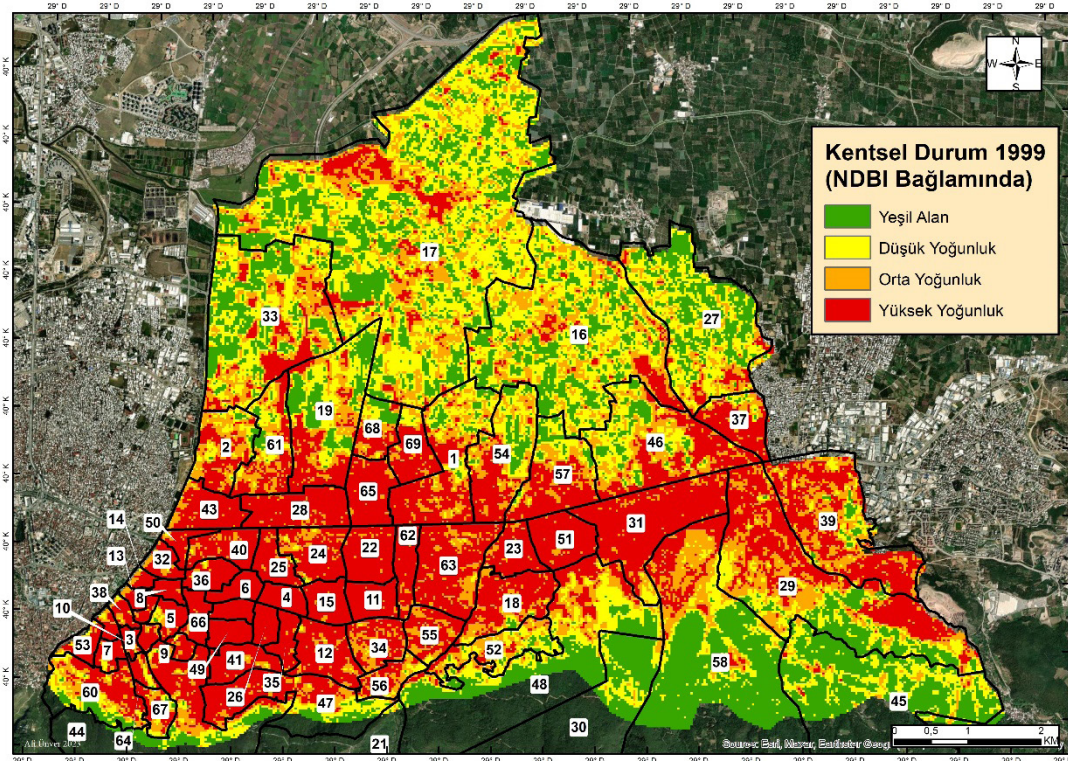
şeklinde hesaplanır. Burada 'NIR' yakın kızılötesini, Red ise kırmızı bantı temsil eder. Yakın kızılötesi ışığın bitki yaprakları tarafından güçlü bir şekilde yansıtılması ve kırmızı ışığın bitkiler tarafından absorbe edilmesi esasına dayanmaktadır. NDVI analizi bitki örtüsünün yoğunluğunu ve sağlığını görsel ve niceliksel olarak ortaya koymaktadır. Bu analiz, ekosistem sağlığı, tarımsal verimlilik ve doğal kaynak yönetimi gibi çeşitli alanlarda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Colwell, 1974). Ayrıca, çalışmada NDBI (Normalized Difference Built-up Index) analizinden de yararlanılmıştır. Bu yöntem, kentsel yapılaşmayı ve yapılaşmış alanların dağılımını belirlemek için kritik önem taşımaktadır. B11 (orta kızılötesi) ve B8 (yakın kızılötesi) bantlarının kullanıldığı bu analizde,

$$\frac{(SWIR + NIR)}{(SWIR - NIR)}$$

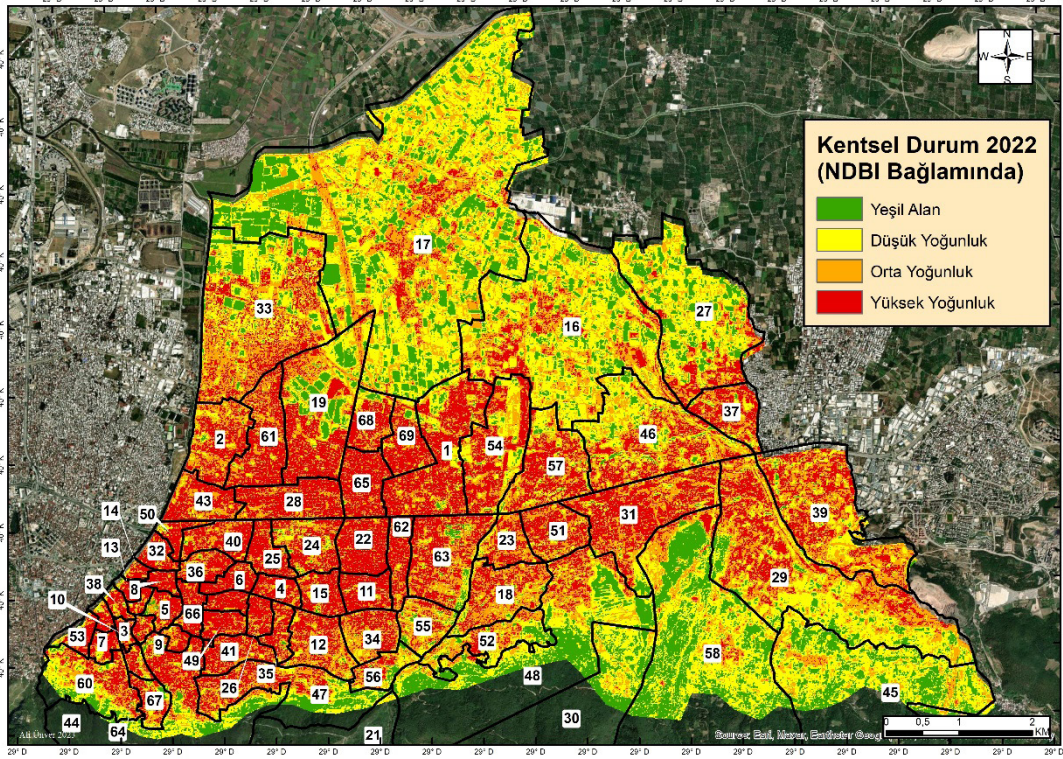
formülü kullanılmaktadır. Orta kızılötesi bant, yapılaşmış alanların yansıma özelliklerini yakalarken, yakın kızılötesi bant ise bitki örtüsü gibi doğal özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Bu iki bant arasındaki fark, kentsel alanların yer yüzeyindeki yoğunluğunu ve yayılımını daha net bir şekilde ayırtmaktadır (Zha, Gao, & Ni, 2003). Bu sayede, şehirleşmenin mekânsal desenleri ve genişlemesi detaylı bir şekilde incelenmektedir. UI (Urbanization Index) analizi de çalışmada önemli bir yer tutmaktadır. UI analizi, kentsel alanların genişlemesini ve yoğunluğunu değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu analiz formülü;

$$\frac{(SWIR2 - NIR)}{(SWIR2 + NIR)}$$

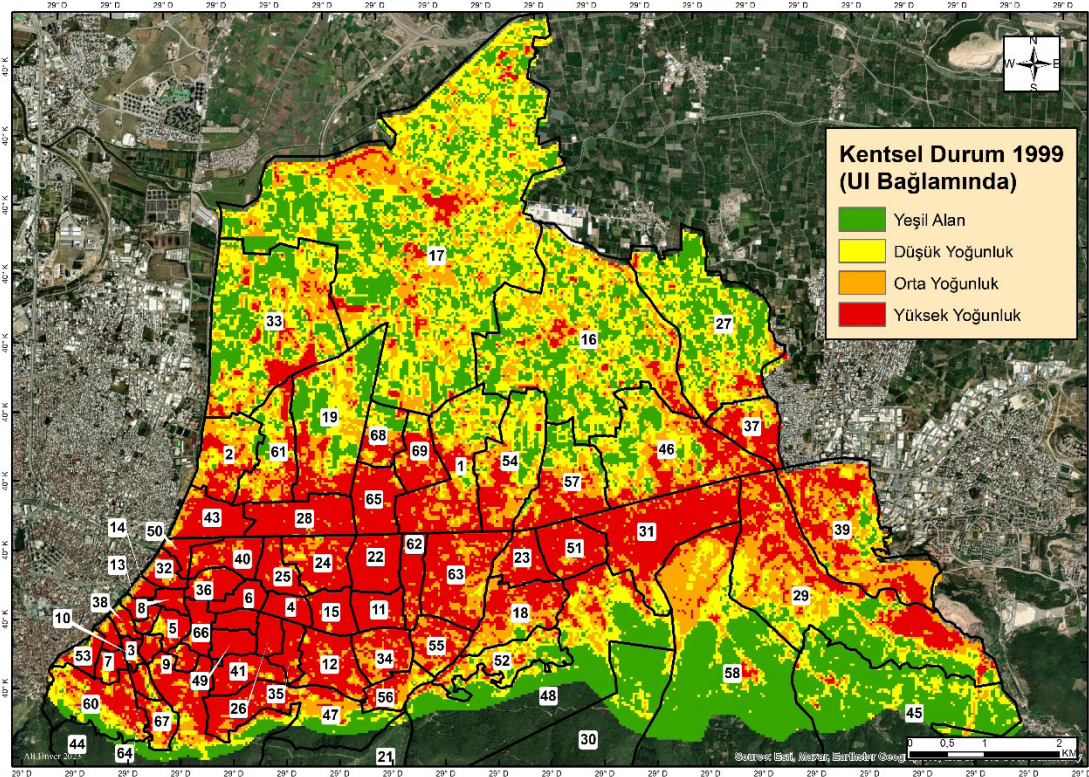
şeklinde olup, SWIR2 kısa dalga kızılötesini (Sentinel-2'de B12 bandı), NIR ise yakın kızılötesini (Sentinel-2'de B8 bandı) temel almaktadır (Derakhshan, Cutter ve Wang 2020). Bu analizler, arazi kullanımı değişimleri ve çevresel etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayarak, çalışmanın derinliğini ve kapsamını arttırmaktadır. Bu nedenle çalışmada, Yıldırım ilçesinin kentsel alanındaki değişimlerin tespiti için NDVI, NDBI ve UI analizleri uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizlerin yapılması sürecinde uydu



Şekil 4 / A. 1999 yılı NDBI haritası (Veri seti: 'LANDSAT/LE07/C01/T1')  
Figure 4 / A. NDBI map of 1999 (Data set: 'LANDSAT/LE07/C01/T1')

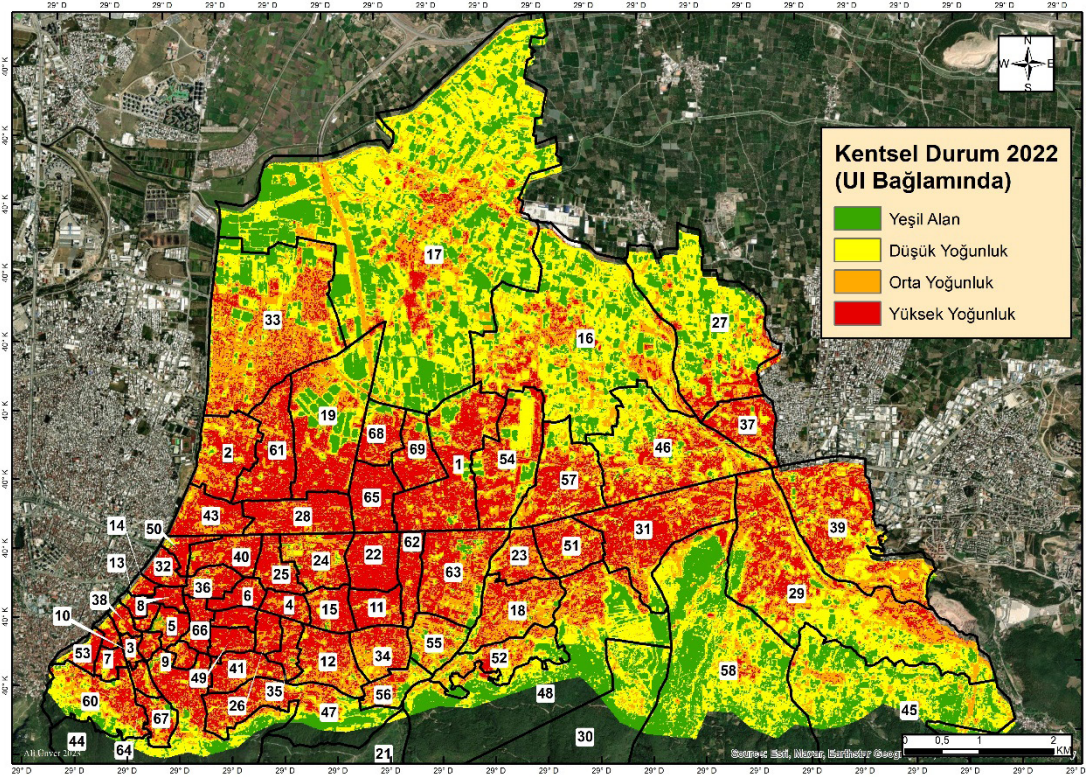


Şekil 4/B. 2022 yılı NDBI haritası (Veri seti: 'COPERNICUS/S2')  
Figure 4/B. NDBI map of 2022 (Data set: 'COPERNICUS/S2')



Şekil 5/A. 1999 yılı UI haritası (Veri Seti: 'LANDSAT/LE07/C01/T1')  
Figure 5/A. UI map of 1999 (Data Set: 'LANDSAT/LE07/C01/T1')





Şekil 5/B. 2022 yılı UI haritası (Veri seti: 'COPERNICUS/S2')

Figure 5/B. UI map of 2022 (Data set: 'COPERNICUS/S2')

görüntüleri kullanılmış olup her bir analiz yönteminin sunduğu veriler ile elde edilen haritalar karşılaştırılmış ve doğrulukları değerlendirilmiştir.

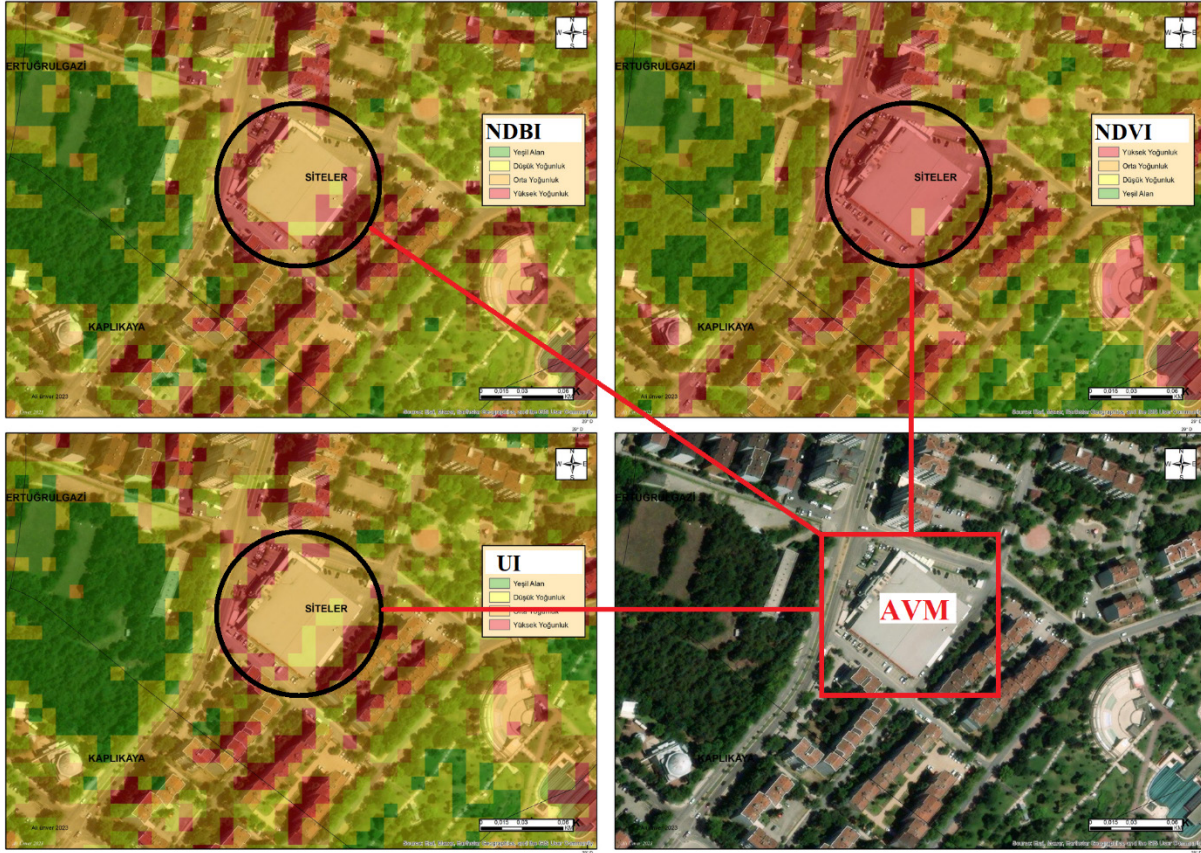
#### 4. ÇALIŞMANIN BULGULARI

Yıldırım ilçesinin kentsel gelişimdeki yapı yoğunluğu değişimleri yüksek yoğunluk, orta yoğunluk, düşük yoğunluk ve yeşil alan olarak dört ana kategoride ortaya çıkarılmıştır. Bu bağlamda Yıldırım ilçesi için yapılan analizler 1999 ve 2022 yılları arasındaki değişimi gösteren NDVI, NDBI ve UI analiz sonuçlarını içermektedir. Bu sonuçlar, Şekil 3: A/B ile gösterilen NDVI, Şekil 4: A/B ile gösterilen NDBI ve Şekil 5: A/B ile gösterilen UI analizleri haritalarıyla sunulmaktadır. Haritalarda kullanılan numaraların hangi mahallelere karşılık geldiğini gösteren liste, Tablo 1'de gösterilmiştir.

Yıldırım İlçesindeki NDVI, NDBI ve UI analizlerinin makro ölçekli analiz sonuçlarına bakıldığında, NDBI ve UI analizlerinin özellikle arazi örtüsü çeşitliliği yüksek olan bölgelerde sınırlı başarı göstermesinin aksine, NDVI analizi bu karmaşık örtüleri daha doğru bir şekilde tespit etmiştir. Bunun nedeni NDVI'nin bitki örtüsü ve yeşil alanları tespit etmede yüksek hassasiyet göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Yıldırım ilçesi geneline NDVI analizi sonuçlarına göre bakıldığında 1999-2022 yılları arasında yüksek yoğunluklu yapılaşma alanlarının 4,75 km<sup>2</sup> artarak %24,28'lik önemli bir artış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Buna karşılık yeşil alanlarda önemli oran ve miktarda azalmalar gerçekleşmiştir. 1999 ile 2022 arasında, Yıldırım ilçesinde yeşil alanlar %16,27 oranında azalırken, yüksek yoğunluklu yapılaşma alanların %24,28 oranında artması kentsel gelişimin ve yapılaşma yoğunluğunun hızlı artışı göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Yıldırım İlçesinde NDVI bağlamında 1999-2022 yılları arası alansal değişimler  
Table 2. Areal changes in Yıldırım District between 1999 and 2022 in terms of NDVI

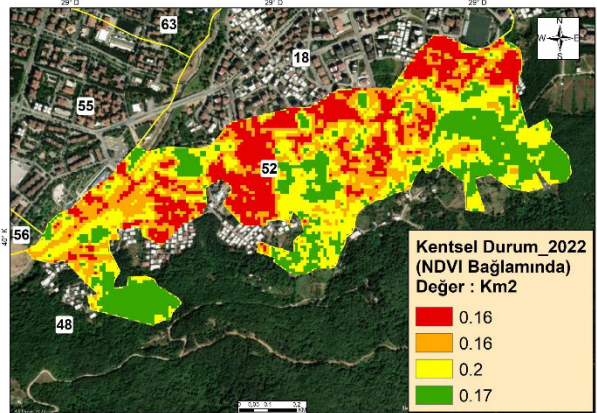
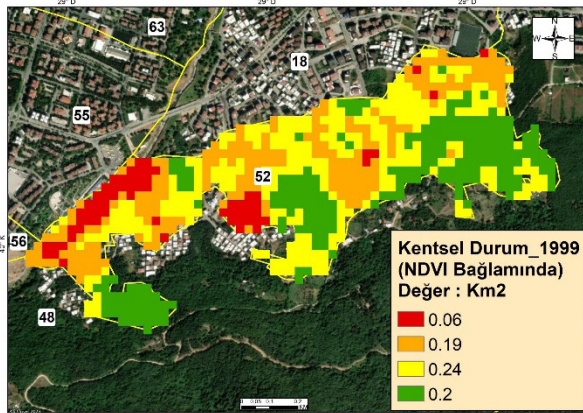
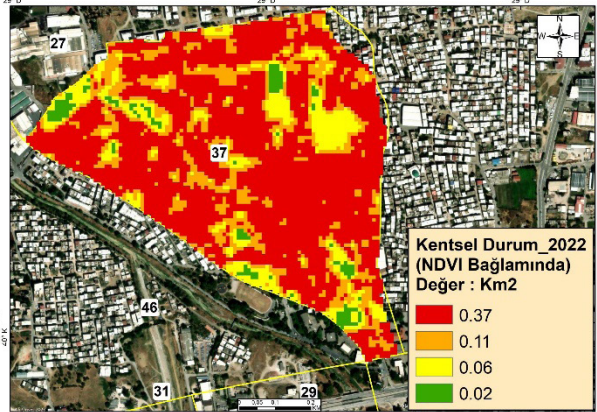
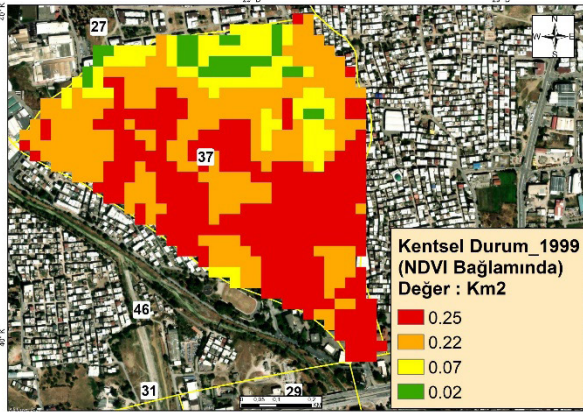
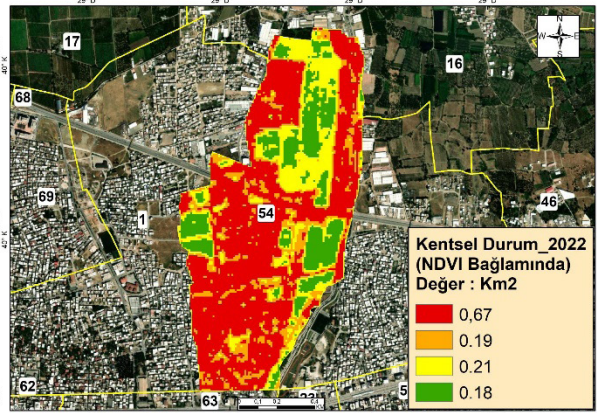
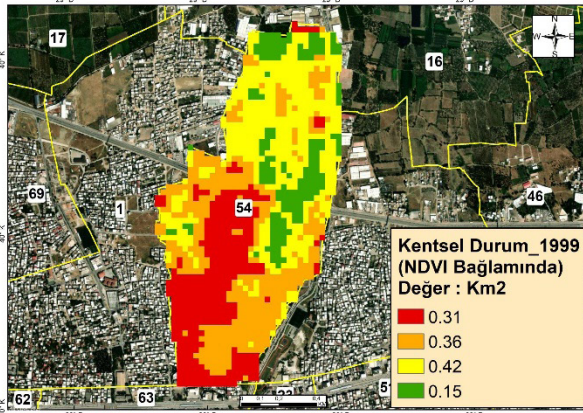
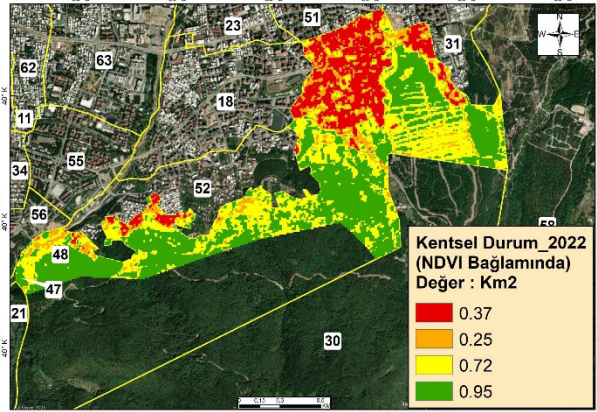
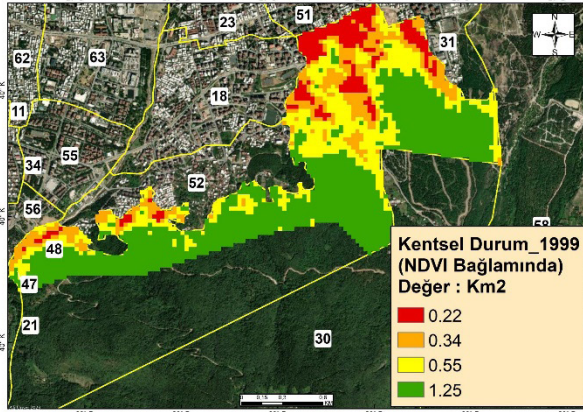
Kategori	1999 (km <sup>2</sup> )	2022 (km <sup>2</sup> )	Değişim(km <sup>2</sup> )	Değişim(%)
Yüksek yoğunluklu yapılaşma	19,56	24,31	4,75 km <sup>2</sup>	24,28%
Orta yoğunluklu yapılaşma	12,42	11,73	-0,69 km <sup>2</sup>	-5,55%
Düşük yoğunluklu yapılaşma	17,20	16,10	-1,10 km <sup>2</sup>	-6,40%
Yeşil Alan	18,20	15,24	-2,96 km <sup>2</sup>	-16,27%

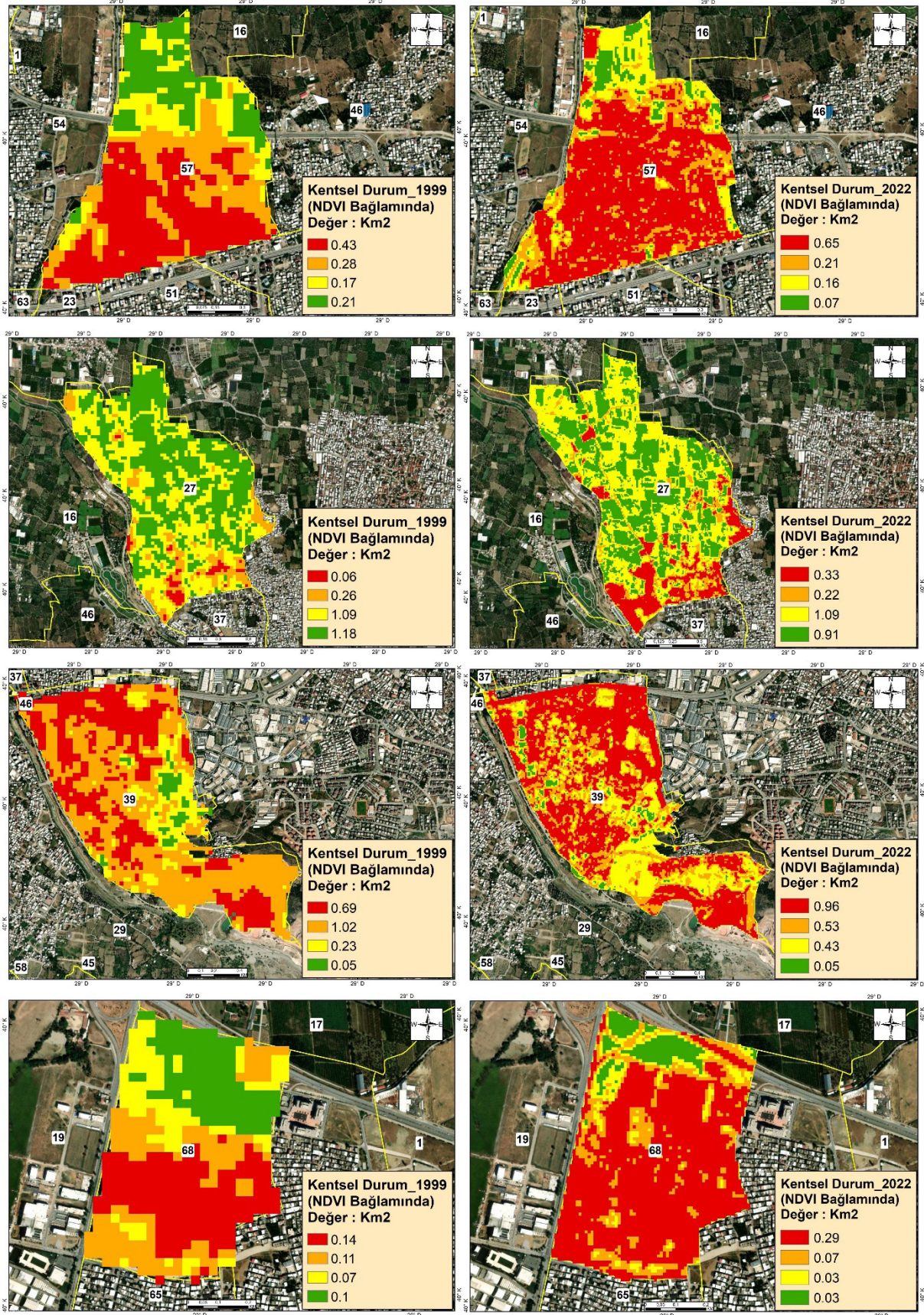


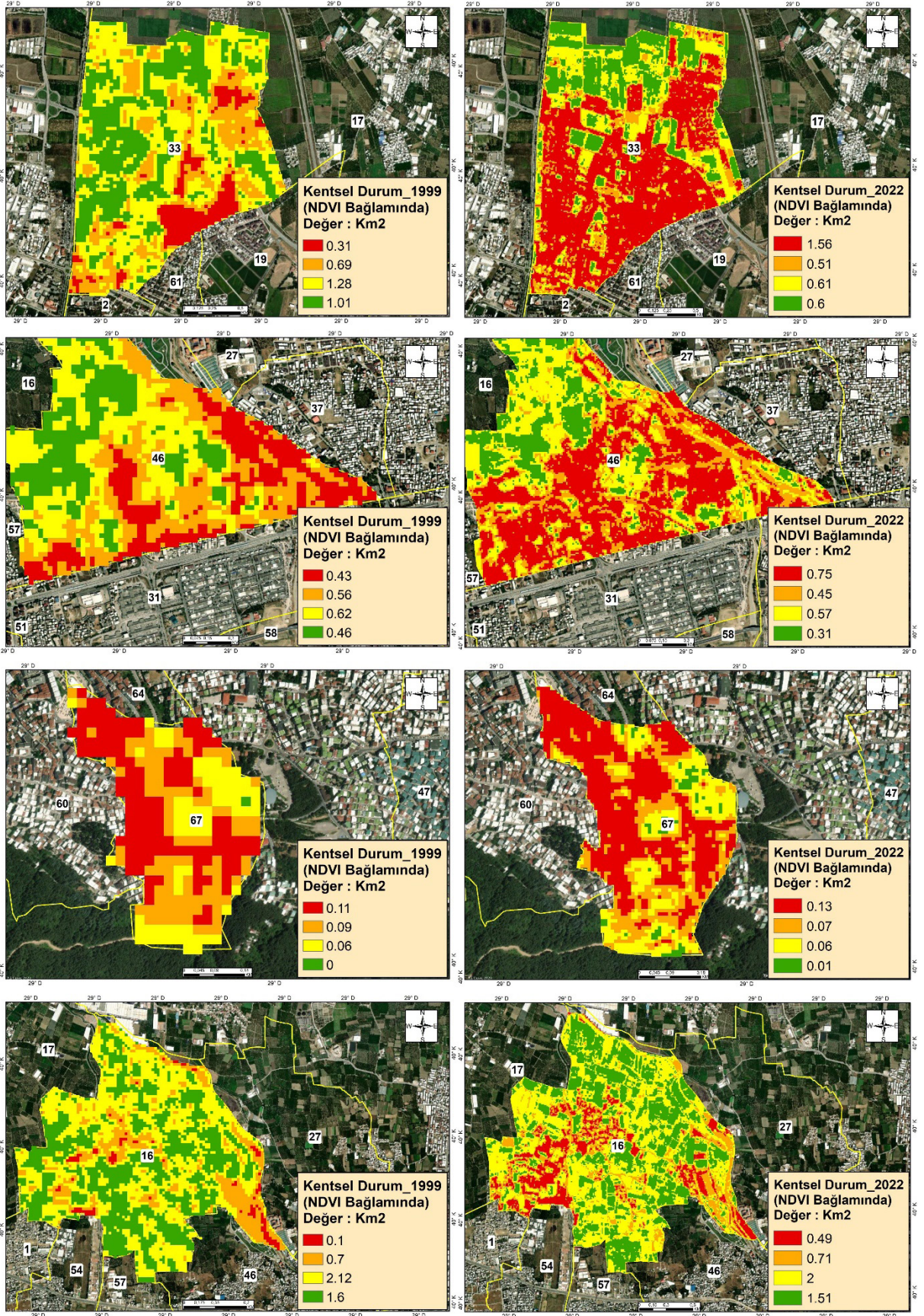
**Şekil 6.** NDVI, NDBI ve UI analizleri karşılaştırması  
*Figure 6.* Comparison of NDVI, NDBI and UI analyzes

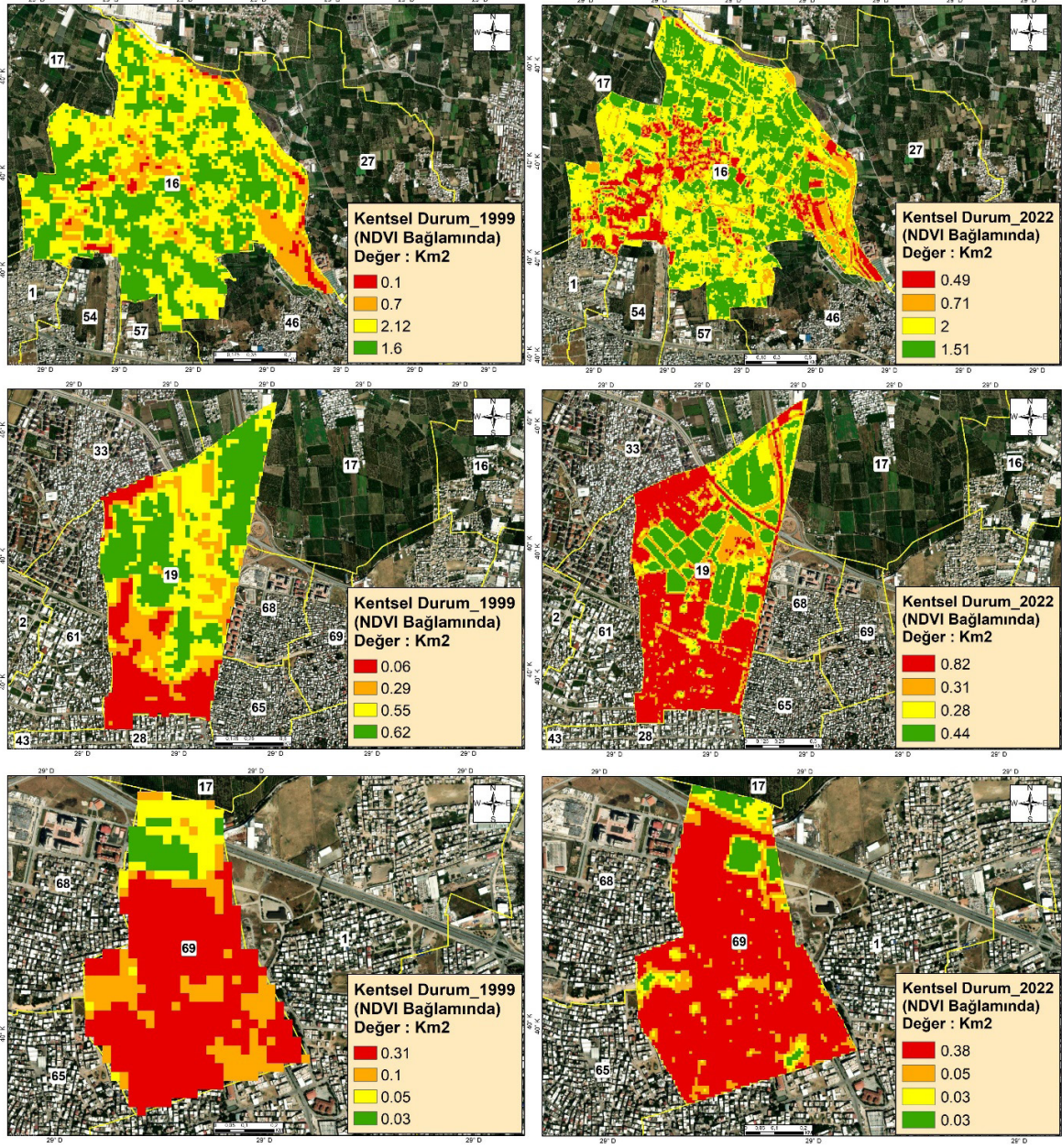
Genel olarak mikro ölçekli alanlarda NDVI, NDBI ve UI analizlerinin hangisinin değişimleri daha iyi tespit ettiğini ve daha doğru sonuçlar verdiğini test etmek için örnek alan seçilerek değişimler tespit edilmiştir. Bunun için Yıldırım ilçesinde belirli bir alışveriş merkezi ve çevresi seçilmiş değişimler incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde NDVI analizinin yerleşim birimlerinin değişimi yönündeki tespitinin daha tutarlı ve doğruluğunun daha fazla olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, Yıldırım ilçesinde belirli bir alışveriş merkezi (AVM) ve çevresindeki yapılaşmanın, karşılaştırmalı olarak NDVI, NDBI ve UI analizleri aracılığıyla farklı biçimlerde nasıl ortaya çıktığı Şekil 6’da görülmektedir. NDVI, NDBI ve UI analizleri sonuçlarının karşılaştırılması için örnek olarak ele alınan AVM ve çevresindeki kentsel yapılaşmanın tespiti sonucunda, NDBI ve UI analizlerinde yapılaşma alanlarındaki ayırımın belirginliği ve netliğinin daha düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Buna karşılık, NDVI analizinin, AVM, yollar ve çevresindeki bitki örtüsünün ve yeşil alan katmanlarının daha net bir şekilde ayırt edilmesini sağlayarak, kentsel alan ve doğal öğelerin daha iyi tespitini yaptığı ortaya çıkmıştır.

Analiz sonuçları neticesinde, NDVI analizinin diğer analizi yöntemlerine göre yerleşim yerleri ve yeşil alanlar arasındaki sınırları belirlemede daha net ve hassas sonuçlar vermesi sebebiyle daha etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle mahalle düzeyindeki analizlerde NDVI analizi yöntemine odaklanılarak NDVI analiz yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 7’de Yıldırım ilçesinde bulunan 69 mahalleden bazı mahallelerin NDVI analizine göre 1999-2022 yılları arasındaki yapılaşma yoğunluğu değişimini gösteren örnek haritalar verilmiştir. Haritalarda kırmızı renk yüksek yoğunluklu yapılaşma alanlarını, turuncu renk orta yoğunlukta yapılaşma alanlarını, sarı renk düşük yoğunlukta yapılaşma alanlarını, yeşil renk ise farklı türdeki tüm yeşil alanları göstermektedir. Yıldırım ilçesinde bazı mahallelerin 1999-2022 yılları arasındaki kentsel yapılaşma yoğunluğu değişiminin karşılaştırılması için oluşturulan bu haritalar, Yıldırım ilçesinin şehirselleşmesi ve yapılaşma yoğunluğundaki değişimi gözlemlemek için fırsat sunarken aynı zamanda mahalle düzeyinde yapılan planlama çalışmaları için öngörüler de sağlamaktadır.









**Şekil 7.** Mahallelerin NDVI analizi yapılaşma yoğunluğu değişim örnekleri (1999-2022)  
*Figure 7. NDVI analysis of neighborhoods, examples of changes building density (1999-2022)*

1999 ve 2022 yılları arasında Yıldırım ilçesi mahallelerinin yüksek, orta ve düşük yapılaşma yoğunluğu ile yeşil alan dağılımlarını gösteren karşılaştırma verileri kilometrekare (km<sup>2</sup>) olarak Tablo 3’de sunulmuştur. Bu veriler, aynı zamanda ilçenin 23 yıllık (199-2022) uzun vadeli kentsel alan değişimini de göstermektedir. İlçede 75.Yıl, Çınarönü, Demetevler, Fidyekızık, Hacivat, İsabey, Karpınar, Mevlana, Millet, Pimerim, Siteler, Şirinevler, Teferrüç, Ulus, Vakıf, Vatan ve Yunusemre mahalleleri değişimin en fazla tespit edildiği mahallelerdir. Buna karşılık bu mahaller dışındaki mahallelerde değişimlerin çok az olduğu ya da olmadığı tespit edilmiştir.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Bursa’nın metropoliten ilçelerinden biri olan Yıldırım ilçesinin 1999-2022 yılları arasındaki kentsel değişimi, NDVI, NDBI ve UI analizleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, NDVI analizinin kentsel gelişim trendlerini daha tutarlı ve detaylı bir şekilde ortaya koyduğunu göstermektedir.

**Tablo 3.** NDVI analizine göre mahallelerin yapılaşma yoğunluğu değerleri (km<sup>2</sup>)*Table 3.* Building density values of neighborhoods according to NDVI analysis (km<sup>2</sup>)

Mahalle Adı	1999 Yılı (km <sup>2</sup> )				2022 Yılı (km <sup>2</sup> )			
	Yüksek Yoğunluk	Orta Yoğunluk	Düşük Yoğunluk	Yeşil Alan	Yüksek Yoğunluk	Orta Yoğunluk	Düşük Yoğunluk	Yeşil Alan
152 Evler	0,47	0,13	0,05	0	0,47	0,13	0,05	0
75.yıl	0,22	0,29	0,56	1,22	0,37	0,25	0,72	0,95
Akçağlayan	0,59	0,23	0,13	0,2	0,59	0,23	0,13	0,2
Anadolu	0,44	0,05	0,01	0	0,44	0,05	0,01	0
Arabayatağı	0,55	0,39	0,42	0,18	0,55	0,39	0,42	0,18
Bağlaraltı	0,38	0,38	0,07	0,02	0,38	0,38	0,07	0,02
Balaban	0	0	0,08	0,71	0	0,05	0,3	0,44
Baruthane	0,21	0	0	0	0,21	0	0	0
Beyazıt	0,31	0,01	0	0	0,31	0,01	0	0
Cumalıkızık	0,14	0,66	0,54	2,3	0,14	0,66	0,54	2,3
Çınarönü	0,31	0,36	0,52	0,15	0,79	0,19	0,21	0,15
Davutdede	0,14	0,01	0	0	0,14	0,01	0	0
Davutkadı	0,2	0,04	0	0	0,2	0,04	0	0
Değirmenlikızık	0,51	0,1	0,01	0	0,51	0,1	0,01	0
Değirmenönü	0,98	1,1	0,82	0,84	0,98	1,1	0,82	0,84
Demetevler	0,25	0,22	0,07	0,02	0,37	0,11	0,06	0,02
Duaçınarı	0,7	0,01	0,05	0,01	0,7	0,06	0,01	0
Eğitim	0,31	0,05	0	0	0,31	0,05	0	0
Emirsultan	0,14	0,06	0	0	0,14	0,06	0	0
Erikli	0,33	0,07	0	0	0,33	0,07	0	0
Ertuğrulgazi	0,34	0,14	0,03	0,06	0,35	0,18	0,04	0
Esenevler	0,5	0,06	0,02	0,02	0,5	0,08	0,02	0
Fidyekızık	0	0,08	0,3	0,53	0,16	0,19	0,39	0,17
Güllük	0,33	0,02	0,02	0	0,33	0,04	0	0
Hacivat	0,43	0,28	0,17	0,21	0,65	0,21	0,16	0,07
Haciseyfettin	0,11	0,01	0	0	0,11	0,01	0	0
Hamamlıkızık	0	0,08	0,36	1,93	0	0,08	0,36	1,93
Hocataşkın	0,05	0,02	0	0	0,05	0,02	0	0
İsabey	0,06	0,24	1,09	1,18	0,35	0,22	1,09	0,91
Kaplıkaya	0,16	0,11	0,04	0,01	0,16	0,13	0,03	0
Karaağac	0,12	0,04	0,01	0	0,12	0,04	0,01	0
Karamazak	0,05	0,03	0	0	0,05	0,02	0,01	0
Karpınar	0,69	1,02	0,23	0,05	0,98	0,76	0,22	0,03
Kazımkarabekir	0,33	0,22	0,21	0,08	0,33	0,22	0,21	0,08
Kurtoğlu	0,07	0,02	0	0	0,07	0,02	0	0
M.Akif Ersoy	0,22	0	0	0	0,22	0	0	0
Maltepe	0,21	0,02	0	0	0,21	0,02	0	0
Mevlana	0,14	0,11	0,07	0,1	0,29	0,07	0,03	0,03
Meydancık	0,06	0,02	0,01	0	0,06	0,02	0,01	0
Millet	0,31	0,69	1,28	1	1,56	0,51	0,61	0,6
Mimarsinan	0,84	0,27	0,01	0	0,84	0,27	0,01	0
Mollaarap	0,27	0,24	0,29	0,07	0,27	0,24	0,29	0,07
Musababa	0,07	0,02	0,01	0	0,07	0,02	0,01	0
Namazgah	0,07	0,02	0	0	0,07	0,02	0	0
Ortabağlar	0,52	0	0	0	0,52	0	0	0
Pimerim	0,48	0,24	0,29	0,19	0,49	0,26	0,29	0,16
Samanlı	0,19	1,55	5,63	3,81	0,19	1,55	5,63	3,81
Selçukbey	0,34	0	0	0,03	0,34	0,02	0,01	0
Selimzade	0,06	0,01	0,01	0	0,06	0,01	0,01	0
Sıracevizler	0,22	0,02	0	0	0,22	0,02	0	0
Sinandede	0,23	0,05	0	0	0,23	0,05	0	0
Siteler	0,1	0,15	0,05	0,12	0,12	0,21	0,09	0
Şirinevler	0,43	0,56	0,62	0,46	0,75	0,45	0,57	0,3
Şükranıye	0,38	0,07	0	0	0,38	0,07	0	0
Teferrüç	0	0,06	0,09	0,11	0,13	0,07	0,05	0,01
Ulus	0,31	0,1	0,05	0,03	0,38	0,05	0,05	0,01
Umurbey	0,11	0,04	0,01	0	0,11	0,04	0,01	0
Vakıf	0,1	0,7	2,12	1,8	0,5	0,71	2	1,51
Vatan	0,26	0,28	0,18	0,04	0,5	0,17	0,08	0,01
Yavuzselim	0,52	0,03	0,01	0	0,52	0,03	0,01	0

Yediselvililer	0,16	0	0	0	0,16	0	0	0
Yenimahalle	0,07	0,03	0,02	0	0,07	0,03	0,02	0
Yeşil	0,06	0,04	0	0	0,06	0,04	0	0
Yeşilyayla	0,19	0	0	0	0,19	0	0	0
Yıldırım	0,15	0,03	0	0	0,15	0,03	0	0
Yiğitler	1,33	0,23	0,07	0,09	1,33	0,26	0,13	0
Yunusemre	0,38	0,29	0,55	0,62	0,82	0,31	0,28	0,43
Zeyniler	0	0	0,02	0,01	0	0	0,02	0,01
Zümrütevler	0,36	0,02	0	0	0,36	0,02	0	0

NDVI'nın tutarlı ve güvenilir bir analiz yöntemi olduğunu kanıtlayan bulgular, "Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Bolu İlinde Arazi Kullanımındaki Değişimin Tespiti" (Ekinci, 2013) ve "Kentsel Büyümenin Modellenmesi ve Simülasyon Modelleri" (Yazıcı, Öztürk, & Ayazlı, 2019) çalışmalarıyla da uyum göstermektedir. Ayrıca, "Uzaktan Algılama Verilerinden Kentsel Büyüme ve Yayılma Analizi, Nüfus Projeksiyonu: Köyceğiz Örneği" (Koç ve Bayazıt, 2022) çalışmasıyla yapılan karşılaştırmalar da bu durumu desteklemektedir. Bu analizler, NDVI'nın çevresel değişimlerin izlenmesinde sunduğu detaylı verilerin önemini vurgulamaktadır.

Google Earth Engine kullanılarak gerçekleştirilen "Eskişehir İli Arazi Kullanım Haritalarının Üretimi" çalışması (Aghlmand, Kalkan, Onur, Öztürk vd., 2021) da Yıldırım ilçesi çalışmasıyla paralellik göstermektedir. Her iki çalışmada da NDVI ve diğer analizlerin kentsel ve çevresel değişikliklerin analizinde etkinliği vurgulanmakta ve Google Earth Engine'in güçlü bir araç olarak kullanımı öne çıkarılmaktadır.

Çalışmada elde edilen bulgular, Esenyurt ilçesi için yapılan benzer çalışmada olduğu gibi, NDVI'nın yeşil alanların ve kentsel yapılaşmanın takibinde kritik bir araç olduğunu göstermektedir (Kaya & Dervişoğlu, 2023). Yapılan çalışmayla CBS teknikleri ve spektral indekslerin kentsel planlama ve çevre yönetiminde uygulanmasının gerekliliği bir kez daha öne çıkmaktadır.

NDVI analizinin kentsel gelişim ve değişimleri ortaya çıkarma potansiyeli bu çalışmada açıkça görülmektedir. Yıldırım ilçesinde yeşil alanların azalması ve yapılaşma yoğunluğunun artışı gibi değişimler, bu analizle hassas bir şekilde tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, NDVI'nın özellikle kentsel alanlardaki değişiklikleri izleme ve belgeleme konusunda etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın bilimsel katkısı, çalışmada NDVI, NDBI ve UI analizlerinin birlikte kullanılmasıyla kentsel değişim süreçlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesidir. NDVI'nın kentsel alanlardaki değişimleri hassas bir şekilde tespit edebilme yeteneği, sürdürülebilir şehir planlama stratejileri için önemli bir

araçtır. Çalışma, kentsel gelişim dinamiklerinin anlaşılmasında ve çevresel değişikliklerin izlenmesinde CBS ve uzaktan algılama tekniklerinin etkinliğini göstermektedir. Ayrıca, bu analizlerin Google Earth Engine gibi ileri teknoloji platformlarıyla entegre edilmesi, veri işleme ve analiz süreçlerinin hızını ve doğruluğunu artırmaktadır. Bu bağlamda, çalışma, kentsel planlama ve çevre yönetimi alanlarında yeni stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, NDVI'nın kırsal ve kentsel alanlardaki çevresel değişimlerin izlenmesindeki potansiyelini ortaya koyarak, gelecekteki planlama stratejileri için önemli bir referans sunmaktadır. Örneğin, Yıldırım ilçesinde hızla artan yapılaşma yoğunluğu alanları ve buna karşılık azalan yeşil alanlar, sürdürülebilir şehir planlaması için acil müdahale edilmesi gereken yerleri işaret etmektedir.

NDVI ve diğer CBS tekniklerinin avantajları arasında yüksek hassasiyet ve geniş kapsamlı analiz imkânları bulunmaktadır. Fakat bu analizlerin sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, kırsal alanlarda yerleşim tespiti veya farklı yerleşim birimlerinde sonuçların değişken olabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle kıyaslamalı analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu tür bir yaklaşım, CBS tekniklerinin çeşitli coğrafi koşullarda daha güvenilir sonuçlar vermesine katkı sağlar.

Çalışmada en çok değişim gösteren mahalleler 75.Yıl, Çınarönü, Demetevler, Fidyekızık, Hacivat, İsabey, Karapınar, Mevlana, Millet, Siteler, Şirinevler, Teferruç, Ulus, Vakıf, Vatan ve Yunusemre mahalleleridir. Bu mahallelerdeki değişiklikler, Yıldırım ilçesindeki hızlı nüfus artışı ve artan yapılaşma baskısından kaynaklanmaktadır. Özellikle sanayi yoğunluğunun artışı, bu mahallelerde kentsel büyümeyi hızlandırmış, yeşil alanların azalmasına ve yapılaşma yoğunluğunun önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Ayrıca, bu mahallelere göç hareketlerinin artması ve yeni konut projelerinin hayata geçirilmesi, ilçedeki kentsel dinamikleri değiştirmiştir. NDVI analiz sonuçları, yeşil alanların %16,27 oranında azaldığını ve bu durumun çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorun oluşturduğunu göstermektedir.



Elde edilen sonuçlar, Yıldırım ilçesinin kentsel değişim süreçlerini anlamada yeni perspektifler sunmakta ve NDVI'nin yapılaşma yoğunluğu değişimlerini izleme konusunda etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca gelecekteki kentsel projeksiyonları şekillendirmede planlama stratejilerine ışık tutmakta önemli bir kaynak oluştururken, sürdürülebilir kentsel gelişimin önemini de vurgulamaktadır.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Yazar Katkıları:** Çalışma Konsepti/Tasarım- Z.B., A.Ü.; Veri Toplama- A.Ü., Z.B.; Veri Analizi/Yorumlama- A.Ü., Z.B.; Yazı Taslağı- A.Ü., Z.B.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- Z.B., A.Ü.; Son Onay ve Sorumluluk- Z.B., A.Ü.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

**Finansal Destek:** Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

**Peer Review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Conception/Design of Study- Z.B., A.Ü.; Data Acquisition- A.Ü., Z.B.; Data Analysis/Interpretation- A.Ü., Z.B.; Drafting Manuscript- A.Ü., Z.B.; Critical Revision of Manuscript- Z.B., A.Ü.; Final Approval and Accountability- Z.B., A.Ü.

**Conflict of Interest:** Authors declared no conflict of interest.

**Financial Disclosure:** Authors declared no financial support.

## KAYNAKÇA/REFERENCES

- Aghlmand, M., Kalkan, K., Onur, M. İ., Öztürk, G., vd. (2021). Google Earth Engine ile arazi kullanımı haritalarının üretimi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 38-47. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.795977>
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT press.
- Bursa Yıldırım Belediyesi (2023). Yıldırım hakkında. (Erişim tarihi: 05 Aralık 2023). <https://www.yildirim.bel.tr/tr/yildirim/hakinda-8927>
- Collins, N. M. (1988). R. Clarke (ed.) 1986. The handbook of ecological monitoring. A GEMS/UNEP Publication, Oxford University Press. ISBN 0-12-854590-8. *Journal of Tropical Ecology*, 4(4), 412-413. doi:10.1017/S0266467400003096.
- Colwell, J. E. (1974). Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 3(3), 175-183. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(74\)90003-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(74)90003-0)
- Derakhshan, S., Cutter, S. L., & Wang, C. (2020). Remote sensing derived indices for tracking urban land surface change in case of earthquake recovery. *Remote Sensing*, 12(5), 895. <https://doi.org/10.3390/rs12050895>
- Ekinci, D. (2013). Uzaktan algılama teknolojileri ile Bolu ilinde arazi kullanımındaki değişimin tespiti. *Coğrafya Dergisi*, 1(24), 18-37.
- Goodchild, M.F. (1992). Geographical information science. *International journal of geographical information systems*, 6(1), 31-45.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Jensen, J. R. (2009). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e*. Pearson Education India.
- Kapluhan, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) coğrafya öğretiminde kullanımının önemi ve gerekliliği. *Marmara Coğrafya Dergisi* (29). <https://doi.org/10.14781/mcd.85148>
- Kaya, Z., & Dervisoglu, A. (2023). Determination of Urban Areas Using Google Earth Engine and Spectral Indices; Esenyurt Case Study. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.1214001>
- Koç, C., & Bayazıt, Y. (2022). Uzaktan algılama verilerinden kentsel büyüme ve yayılma analizi, nüfus projeksiyonu: Köyceğiz örneği, Muğla-Türkiye. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(38), 8-15. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1091854>
- Moore, D. R., Mccutcheon H., 2002. GIS in a Knowledge Domain:Bringing GIS to operational integration in Spatial Planning, 8th EC-GI&GIS Workshop; ESDI.
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1073-1076.
- Tarantino, C., Forte, L., Blonda, P., Vicario, S., Tomaselli, V., Beierkuhnlein, C., & Adamo, M. (2021). Intra-Annual Sentinel-2 Time-Series Supporting Grassland Habitat Discrimination. *Remote Sensing*, 13(2), 277. <https://doi.org/10.3390/rs13020277>
- Tümertekin, E. (2007). Planlama eğitimi coğrafya ilişkisi üzerine. A. Mengi (Ed.), Kent ve planlama (Geçmiş korumak geleceği tasarlamak) kitabı içinde (s.225-236). Ankara: İmge Kitabevi.
- Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2018). Land cover 2.0. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 4254-4284.
- Yazıcı, A. D., Öztürk, D., & Ayazlı, İ. E. (2019). Kentsel büyümenin modellenmesi ve simülasyon modelleri. *International Journal of Management Science and Information Technology (IJMSIT)*, 3(1), 44-47.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of Normalized Difference Built-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>

